

УДК 681.518.2

СИСТЕМА ПЕРЕДПОМПАЖНОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧОЇ ТОЧКИ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ТИПУ ГТК-10 НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО КОНТРОЛЕРА МІК-51

А.В.Слободян

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
kafatp@as.nung.edu.ua

Рассматривается вопрос определения запаса к помпажу для газоперекачивающего агрегата типа ГТК-10. Создана система, позволяющая определять запас к помпажу прямым и косвенным методами. Предложенная система является автономной и может устанавливаться на газоперекачивающий агрегат без его комплексной модернизации.

This paper shows the problem of determining the surge distance for GTK-10 gascompressor unit. Designed system determines surge distance using direct and indirect approaches. This system is autonomous and can be implemented without a total modernization of gascompressor unit.

На сьогодні в Україні експлуатується близько 70 газоперекачувальних агрегатів (ГПА) типу ГТК-10, більшість з яких функціонують без системи передпомпажного попередження і про помпаж оперативний персонал дізнається безпосередньо при його початку, коли вже немає часу для прийняття мір щодо його уникнення, а можливо лише зменшити його наслідки. Отже, розробка системи передпомпажного попередження є актуальним науково-технічним завданням, оскільки надійна робота ГПА можлива лише за наявності такої системи.

Дане питання є важливим, оскільки надійна робота ГПА впливає на режим роботи газопроводу, від якого залежить безперебійна поставка газу споживачам та його транспортування територією України.

Проте аналіз останніх досліджень та публікацій ([1-9] та ін.) свідчить, що в даному напрямку проведено недостатній об'єм досліджень і на сьогодні немає ефективного методу визначення віддаленості робочої точки ГПА від границі помпажу. Наразі в газотранспортній системі України працює значна кількість ГПА різного типу. Найчисельнішими є ГПА з газотурбінним приводом з вільною силовою турбіною та відцентровим нагнітачем (Н). У процесі експлуатації газопроводу помітно змінюються тиск і температура на вході у Н, витрата газу, кількість паралельно працюючих ГПА, що викликає відповідні зміни режимних параметрів на виході КС [1]. Режим роботи Н ГПА постійно змінюється під час експлуатації. Це пов'язано зі зміною споживання газу, складу газу, умов навколишнього середовища, а також зміною технічного стану ГПА загалом. Основними параметрами роботи ГПА є тиск газу на вході ($P_{\text{вх}}$) та тиск газу на виході Н ($P_{\text{вих}}$), частота обертів ротора Н, температура газу на вході та на виході Н, температура продуктів згоряння перед турбіною високого тиску (ТВТ).

Питання автоматичного регулювання параметрів роботи ГПА добре досліджено. Наприклад, до цього часу успішно працюють сис-

теми автоматики, які введені в експлуатацію ще в 70-х роках минулого століття, проте важливою є проблема регулювання роботи ГПА в режимах, близьких до помпажу та безпосередньо при ньому, особливо для ГПА, які не обладнані сучасними протипомпажними системами. При цьому слід враховувати, що помпаж – це зрив потоку газу з лопаток колеса нагнітача, з можливим проривом його з нагнітального патрубку у всмоктуючий, що супроводжується значною вібрацією, шумом, різкою зміною робочих параметрів ГПА. Кожен помпажний удар зменшує моторесурс ГПА мінімум на 50 мото-годин [2].

Проведений аналіз свідчить, що більшість сучасних систем автоматичного керування (САК) ГПА визначають робочу точку та запас до помпажу шляхом розрахунку витрати газу через всмоктувальний конфузор нагнітача і порівняння її з статичними характеристиками Н в координатах „ступінь стиснення – об'єм перекачування“. Це так званий непрямий метод. Перевагами непрямого методу є можливість бачити поточну витрату газу через нагнітач, і відслідковувати тенденцію зміни режиму газопроводу і ГПА задовго до виникнення помпажу. До недоліків непрямого методу відносять велику (в кращому випадку до 10%) похибку визначення границі помпажу. Це пов'язано з неточністю методу вимірювання витрати газу шляхом визначення перепаду тиску на звукувальному конфузорі (dP_k).

З часом характеристики нагнітача змінюються і результати, визначені непрямим методом, отримують додаткову похибку, що впливає на результат розрахунку запасу до помпажу, і, в свою чергу, на прийняття рішення оперативним персоналом (ОП) та на роботу активної протипомпажної системи за її наявності.

Другим відомим методом є прямий метод, суть якого полягає у вимірюванні пульсації dP_k . При аналізі коливань газового потоку у нагнітачі є можливість визначити дійсну гра-

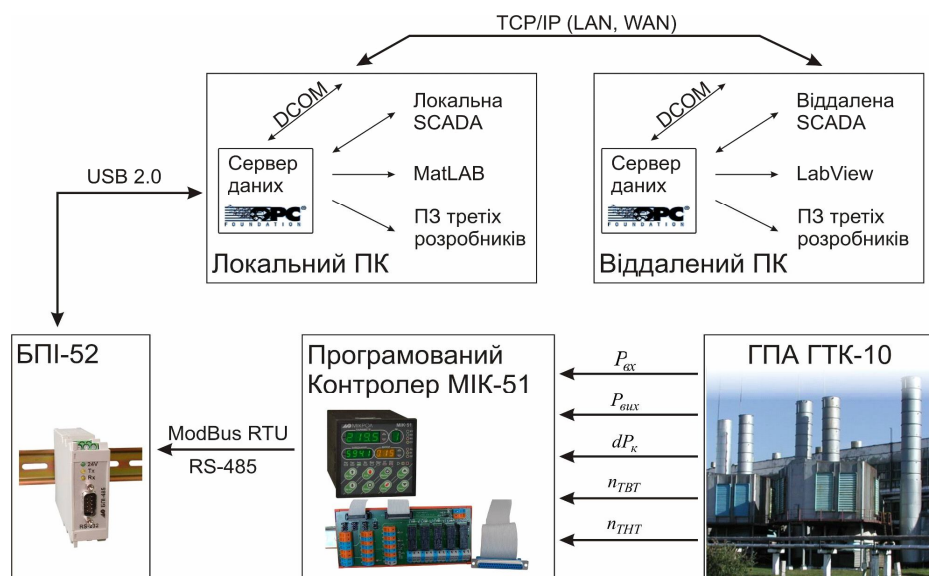


Рисунок 1 — Блочна схема запропонованої системи

ницю помпажу і розширити робочу область нагнітача до границі передпомпажної зони [3]. Перевагою даного методу є його масовість (не потрібно конкретних характеристик за типами нагнітача), незалежність від точності вимірювання dP_k (головне – динаміка зміни параметру). Недоліком, на нашу думку, є те, що використовуючи тільки прямий метод ОП КС за умови роботи ГПА на значній відстані від помпажної зони не можливо бачити поступове наближення до неї.

Отже, невирішеною частиною проблеми є створення системи передпомпажного попередження та визначення робочої точки (СПП) ГПА, яка б поєднувала переваги кожного з методів розрахунку запасу до помпажу.

Тому метою даної роботи є створення СПП з достатньою для надійної роботи ГПА точністю та швидкодією для визначення точних значень робочої точки ГПА та запасу до помпажу, що забезпечить економію моторесурсу ГПА, дасть можливість уникнути позапланових ремонтів обладнання та ефективно використовувати паливний газ.

Встановлення СПП потребує значних додаткових витрат, оскільки протипомпажні системи зазвичай входять в САК ГПА і встановлюються із заміною автоматики. Даний процес є тривалим, крім того заміна САК ГПА найближчим часом запланована на невеликій кількості КС. З огляду на вище наведене, практична цінність недорогої системи передпомпажного попередження є досить значною. Автономна СПП є єдиним способом зберегти від наслідків помпажу моторесурс ГПА, на яких немає сучасної САК.

Цьому сприяє використання технології OPC [англ. OLE for Process Control], яка дає можливість одночасного доступу до даних в реальному часі довільної кількості клієнтів. Логічно, що такий режим доступу до даних відкриває широкі можливості їх наукового аналізу різними програмними пакетами, спеціалістами

з експлуатації та науковцями. Накопичення та аналіз даних з різних типів ГПА є необхідною умовою при створенні адаптивних та інтелектуальних СПП.

Розроблена система складається із первинних вимірювальних перетворювачів, програмованого логічного контролера, блоку перетворення інтерфейсів та робочої станції з встановленою на ній SCADA системою та іншим програмним забезпеченням (рис. 1).

В таблиці 1 наведено технологічні параметри ГПА, необхідні для роботи системи, а також технічні характеристики каналів вимірювання та первинні перетворювачі.

Всі наведені вище параметри (окрім dP_k) використовуються системою централізованого контролю та управління (СЦКУ) ГПА, тому немає потреби монтувати додаткові давачі.

Ці дані заведено в програмований мікропроцесорний контролер МІК-51.

Контролер МІК-51 – це компактний малоканалний багатофункціональний промисловий мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання і логічного керування технологічними процесами [7].

Архітектура контролера забезпечує можливість вручну (або автоматично) вмикати, вимикати, перемикає і змінювати конфігурацію контурів регулювання, причому всі ці операції виконуються безударно незалежно від складності структури керування. У поєднанні з обробленням аналогових сигналів контролер МІК дає змогу виконувати також логічні перетворення сигналів і формувати аналогові, імпульсні та дискретні сигнали керування. Логічні функціональні блоки формують логічну програму крокового управління з аналізом умов виконання кожного кроку, заданням контрольного часу на кожному кроці і умовним або безумовним переходом програми до заданого кроку.

Контролер МІК-51 містить засоби оперативного керування, розташовані на передній панелі контролера. Ці засоби дають змогу вру-

Таблиця 1 — Технологічні параметри ГПА і характеристики каналів вимірювань

№ з/п	Назва параметра	Канал	Давач	Технічні одиниці	Сигнал
1	Перепад тиску газу на звужувальному конфузорі	dP_{κ}	Honeywell 3000 series	0-0,15 МПа	4-20 мА
2	Тиск газу на вході нагнітача	$P_{вх}$	TEX UAG97L	0-10 МПа	4-20 мА
3	Тиск газу на виході нагнітача	$P_{вих}$	TEX UAG97L	0-10 МПа	4-20 мА
4	Частота обертів турбіни високого тиску	$n_{ТНТ}$	ВЦТ-1/L	0-5000 об/хв	інтерфейс*
5	Частота обертів турбіни низького тиску	$n_{ТНТ}$	ВЦТ-1/L	0-5000 об/хв	інтерфейс*

чну змінювати режими роботи, встановлювати завдання, керувати ходом виконання програми, вручну керувати виконавчими пристроями, контролювати сигнали і відображати помилки. Контролери МІК можна об'єднувати в локальну керуючу мережу шинної конфігурації з інтерфейсом RS-485 та протоколом ModBus, максимум 32 контролера.

МІК-51 проводить обробку даних та їх передачу протоколом MODBUS-RTU на блок перетворення інтерфейсу БПІ 52, далі по інтерфейсу USB 2.0 дані поступають на робочу станцію (ПК) з OPC сервером. Це, в свою чергу, дозволяє проводити аналіз даних різними методами та порівнювати отримані результати без додаткових затрат часу на синхронізацію, обробку та передачу даних.

Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програма АЛЬФА. Як мова програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Function Block Diagram

Бібліотека налічує більше 50 типів захитих в ПЗП функціональних блоків неперервної і дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПД регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень. Загальний час, що витрачається на обслуговування функціональних блоків та інтерфейсного каналу, є меншим за час циклу, який дорівнює 0,1с.

Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) ІЕС 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і управління технологічними процесами, що виконуються на програмованих контролерах.

Далі наведемо короткий опис математичного апарату для визначення запасу до помпажу непрямим методом. Для визначення продуктивності нагнітача НЗЛ 520-12-1 визначають перепад тисків dP_{κ} на всмоктувальних камерах на ділянці між вхідним патрубком нагнітача та входом в робоче колесо [8]. Обробка поверхні в

конфузорі з допуском 0,1 мм забезпечує ідентичність їх виготовлення та рівність коефіцієнтів витрати всмоктувальних камер всіх однотипних нагнітачів. Отвори для відбору тиску перед всмоктувальною камерою повинні розміщуватись на вхідному трубопроводі перед патрубком нагнітача. Об'ємну продуктивність нагнітача за умовами всмоктування визначають за формулою [1]

$$Q_{вс} = A l \sqrt{\frac{dP_{\kappa}}{\gamma}} \left[\frac{м^3}{хв} \right], \quad (1)$$

де: dP_{κ} – перепад тиску на всмоктувальній камері, мм.рт.ст.;

γ – відносна вага газу перед нагнітачем, кг/м³;

A – коефіцієнт витрати, обчислюється за результатами тарування камери за допомогою витратомірної діаграми на випробувальному стенді (однотипні нагнітачі мають однакові значення коефіцієнта A). Наприклад, для нагнітача 520-12-1 $A=128,8$;

l – поправка на стиснення газу в камері, яка обчислюється за результатами тарування камери.

Відносна вага газу перед нагнітачем визначається за формулою [1]

$$\gamma_n = \frac{1033}{293R} = \frac{35,2}{R} \left[\frac{кг}{м^3} \right], \quad (2)$$

де R – газова стала.

Формула для обчислення l наведена для величини показників адиабати газу $k=1,31$ [1],

$$l = 1 - 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p}{P_{вх}}. \quad (3)$$

Знаючи об'ємну продуктивність нагнітача, можна порівняти її з номінальною об'ємною продуктивністю нагнітача при даному режимі роботи ГПА. Для цього слід визначити ступінь стисливості газу і за допомогою номограми провести обчислення наближеності ГПА до точки помпажу. Для автоматизації розрахунків криві з номограми (всього 9 кривих) апроксимовані поліномами третього порядку, коефіцієнти яких записані в програму контролера, а

відповідна крива інтерполюється в реальному часі.

Умова безпомпажної роботи [9] виконується коли:

$$\frac{Q_{вс}}{Q_{вс\min}} > 1.1, \quad (4)$$

де $Q_{вс\min}$ – мінімальна продуктивність для даної відносної приведенної частоти обертання ротора ТНТ (за характеристикою нагнітача).

Верхній рівень системи розроблено з використанням демонстраційної версії SCADA пакету Simatic WinCC. Система не має надскладних елементів керування, тому, маючи базові знання SCADA систем, її можна легко реалізувати в тому ж середовищі, в якому розроблено САК КС чи САК КЦ, зекономивши цим значні кошти на купівлю SCADA пакету. Якщо на об'єкті немає жодного SCADA пакету або існують об'єктивні причини, які не дають змоги його модернізувати, можна придбати недорого SCADA систему від виробника контролера МІК-51.

Вартість обладнання для одного ГПА об'ємується 10 тисячами гривень, що робить її доступною на кожній КС.

Розроблена система дає можливість визначати методом перепаду на звужувальному конфузори робочу точку ГПА та запас до помпажу. Реалізовані елементи аналізу динаміки параметрів ГПА, які, на відміну від статичних методів, не мають жорсткої прив'язки до точності вимірювання.

Новизна системи полягає в можливості одночасного використання різних методів визначення запасу до помпажу, що дасть змогу поєднати переваги вищеписаних систем та компенсувати їх недоліки. Впровадження системи не вимагає масштабних робіт та заміни існуючої системи автоматики, а лише доповнює її.

Застосування програмованого логічного контролера в системі передпомпажного попередження дає змогу вносити зміни в логіку роботи контролера, що є необхідною умовою при веденні досліджень, розробці нових методів та вдосконаленні вже існуючих.

Програмований логічний контролер МІК-51 вітчизняного виробництва фірми Мікрол (м. Івано-Франківськ), на базі якого створено систему, добре зарекомендував себе як надійний прилад із задовільним співвідношенням „ціна-якість”, низькою похибкою аналогових входів (<0,2%), якісно реалізованим середовищем програмування. Окремо слід звернути увагу на багатий математичний та логічний апарат, можливість побудови складних систем керування, що робить його дуже зручним для проведення наукових досліджень на виробництві.

Розроблена система є базою з широкими можливостями для проведення подальших наукових досліджень. Планується дослідити можливість використання штучних нейромереж та нечіткої логіки в передпомпажному регулюванні, визначенні динаміки параметрів роботи ГПА та автоматичному аналізі режиму роботи.

Забезпечено широкі комунікаційні можливості системи в реальному часі через промислові, локальні та глобальні мережі зв'язку, що дасть можливість максимально ефективно обробляти та аналізувати отримані дані в різних середовищах.

Розроблено та введено в дослідну експлуатацію на КЦ-2 Долинського ЛВУМГ Прикарпаттрансгаз систему передпомпажного попередження та визначення робочої точки ГПА ГТК(ГТНР)-10 шляхом аналізу зміни технологічних параметрів dP_k , $P_{вх}$, $P_{вх}$, $n_{ТНТ}$. На даному етапі обчислення проводяться за непрямим методом. Збір даних здійснюється мікропроцесорним програмованим контролером МІК-51. Аналізується динаміка зміни всіх вхідних параметрів, що дає змогу розробити динамічний метод визначення запасу до помпажу.

Висновки

Запропонована система дасть можливість визначати запас до помпажу за двома методами, поєднати їх переваги та компенсувати недоліки. Низька вартість системи робить її доступною на КС, де не планується заміна САК ГПА. Широкі комунікаційні можливості системи роблять її зручним інструментом для проведення подальших досліджень помпажних явищ.

Література

- 1 Эксплуатационнику магистральных газопроводов: Справочное пособие / А.В.Громов, Н.Е.Гузанов, Л.А.Хачикян и др. – М.: Недра, 1987. – 261с.
- 2 Ніщета В.В., Свістельник О.В., Мамонов А.І., Таргонський В.О. Помпажні явища та їх вплив на моторесурс ГПА // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2006 – № 3(39). – С. 6–7; № 4(40). – С. 11–13.
- 3 Ніщета В.В., Скулкін М.М., Суханов Є.О., Пономаренко С.А. Десятирічний досвід експлуатації системи протипомпажного захисту типу УЗП-03 на КС «Ромни» Сумського ЛВУМГ // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2006 – № 2(38). – С. 8–11.
- 4 www.mokveld.com
- 5 www.EmersonProcess.com/Fisher
- 6 Ніщета В.В., Свістельник О.В., Пателюх П.І., Чижман Г.М. Дослідження роботи нагнітача RF-2BB-30 газоперекачувального агрегату у передпомпажній зоні // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2006 – № 4(40). – С. 15–17.
- 7 Контроллер Малоканальный Многофункциональный Микропроцессорный МИК-51. Руководство по эксплуатации ПРМК 421457.005 РЭ1.2. – Івано-Франківськ, 2006.
- 8 Гуріненко В.М. Особливості розробки системи протипомпажного захисту нагнітача типу 520-12-1 цеху ГТК-10 // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2005 – № 3(33). – С. 15–16.
- 9 Розгонюк В. В., Хачикян Л. А., Григіль М. А. та ін. Експлуатаційникові газонафтового комплексу: Довідник. – К.: Росток, 1998. – 310с.